DOI: 10.22092/spj.2023.362282.1308

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۴، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در کشت پاییزه با استفاده از تجزیه AMMI

Assessment of Adaptability and Seed Yield Stability of Autumn Sown Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes Using AMMI Analysis

محمود باقری[۱*]، خالد میری[۲]، ، سیب گل خوشکام[۳]، زینب عنافجه[۴] و ساسان کشاورز[۵]

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران.
۳- مربی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.
۴- پژوهشگر، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
۵- پژوهشگر، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹

چکیده

باقری، م.، میری، خ.، خوشکام، س. گ.، عنافجه، ز. و کشاورز، س. ۱۴۰۱. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در کشت پاییزه با استفاد از تجزیه AMMI. **مجله نهال و بذر ۳۸: ۴۷۲-۴۵۳**

با توجه به ضرورت معرفی و توسعه گیاهان جدید سازگار با دوره‌های تنش خشکی ناشی از تغییرات اقلیمی، این پـژوهش بـا هدف ارزیابی سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌های منتخب کینوا در مناطق کشـت پـاییزه انجـام شـد. ده ژنوتیـپ کینـوا شـامل: ژنوتیـپ‌هـایQ29 ,Red Carina, Titicaca, Giza1, Q12, Q18, Q21, Q22, Q26 و Q31 در قالـب طـرح بلـوک‌هـای کامل تصادفی در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۷و ۹۹-۱۳۹۸) در چهار منطقه جیرفـت (شـهریور ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸)، اهواز (مهر ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) و ایرانشهر و بوشهر (آبان ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) کشت شدند. ژنوتیپ¬های با پیشوند Q از کشور شیلی، رقـم Titicaca از دانمارک، رقم Giza1 از مصر و رقم Red Carina از هلند دریافت شده¬اند. در طول اجرای پروژه صـفات روز تا جوانه¬زنی، روز تا گلدهی، روز تا رسـیدگی فیزیولوژیـک، ارتفـاع گیـاه، طـول گـل-آذیـن، قطـر سـاقه، عملکـرد دانـه، وزن هزاردانه و میزان ساپونین دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر سـال، مکـان و ژنوتیـپ‌بـر کلیـه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل این عوامل آزمایشی بر اکثر صفات مورد ارزیـابی نیـز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ژنوتیپ Q12 با میانگین عملکرد دانـه ۲۳۵۰/۲ کیلـوگرم در هکتـار بیشـترین و رقـم Red Carina با میانگین عملکرد دانه ۱۶۹۵ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را به خـود اختصـاص دادنـد. جیرفـت بـا میانگین عملکرد دانه ۳۱۴۷/۵ کیلوگرم در هکتار و بوشهر با میانگین عملکرد دانه ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار بـه ترتیـب بـالاترین و پایین ترین رتبه را در کشمت پاییزه کینوا داشتند. تجزیه پایداری عملکـرد دانـه نیـز نشـان داد کـه ژنوتیپ‌هـای Q18، Q22، TTKK و Q21 به ترتیب دارای پایـدارترین علمکـرد دانـه بودنـد. ژنوتیـپ‌هـای Q18 وQ22 در اهـواز، ایرانشـهر و بوشـهر سازگاری خصوصی داشتند و ژنوتیپ‌هـای Q12، Q29 و Q26 نیـز در جیرفـت سـازگاری خصوصـی بهتـری را نشـان دادنـد. بطورکلی ژنوتیپ‌های کینوا بررسی شده در این پژوهش، برای کشت پاییزه مناسب بودنـد و مـی تـوان آنهـا را بـرای کشـت پاییزه در مناطق هدف در دسترس کشاورزان قرار داد.

واژه‌های کلیدی: کینوا، ارتفاع گیاه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، وزن هزار دانه، میزان ساپونین دانه.

* نگارنده مسئول:m-bagheri@areeo.ac.ir تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۳۷۸۵

مقدمه

با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی در جهان و ایران، تغییرات جدی در ذهنیت، الگوی کشت برای دستیابی به تولید پایدار محصولات مختلف کشاورزی ضروری است. از سوی دیگر با افزایش رو به رشد جمعیت و کاهش منابع آبی و خاکی و افزایش شوری آب و خاک، کشورها علاقمند به تولید محصولات شورزیست هستند. بخش وسیعی از کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و به علت تبخیر فراوان (حدود ۲۰۰۰ میلیمتر در سال) ، بارندگی کم (کمتر از ۲۵۰ میلیمتر در سال) و کیفیت نامناسب آبهای زیرزمینی، خاکهای این مناطق به سمت شور شدن پیش می‌روند (Hosseni *et al.*, 2018).

معرفی گیاهان جدید سازگار با شرایط تنش های محیطی که با رشد و تولید مناسب در شرایط نامناسب دارای بهره وری اقتصادی قابل قبولی برای کشاورزان باشند، بیش از پیش ضرورت پیدا کرده است. یک گزینه پیشنهادی مناسب، گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) با خصوصیات تغذیه‌ای بسیار مناسب و ایده‌آل، متحمل یا مقاوم به طیف وسیعی از تنش‌های غیرزیستی و قیمت جهانی مناسب برای تولیدکنندگان است. سطح زیرکشت جهانی کینوا حدوداً ۲۰۰ هزار هکتار و میانگین عملکرد جهانی آن نیز تقریباً یک تن در هکتار است. کشور های پرو، بولیوی و اکوادور اصلی‌ترین تولیدکنندگان این محصول هستند. هم‌اکنون در کشورهای دیگر آمریکای جنوبی مثل کلمبیا، شیلی و آرژانتین نیز کشت می‌شود. تحقیق و توسعه کینوا در دنیا از حدود یک دهه گذشته رشد چشمگیری داشته است (FAO, 2017).

در حال حاضر این گیاه در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا کشت می‌شود و بسیاری از کشورهای دنیا سرمایه‌گذاری‌های علمی پژوهشی چشمگیری در مورد این محصول داشته‌اند. این گیاه به عنوان یک گیاه مناسب در راستای دستیابی به اهداف جهانی کشاورزی پایدار مورد توجه قرارگرفته است، به طوریکه سطح زیر کشت جهانی این گیاه از ۳۶ هزار هکتار در سال ۱۹۸۰ به ۲۰۰ هزار هکتار در سال ۲۰۱۷ رسیده است (Kaoutar *et al.*, 2017). تحقیقات بر روی این گیاه در ایران نیز از سال ۱۳۸۸ در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر شروع شد (Bagheri, 2018) .

گیاه کینوا متحمل به طیف گسترده‌ای ازشرایط اسیدی خاک درمحدوده pH=۶-۸/۵، خاک‌های با حاصلخیزی پایین با شوری متوسط و سطح اشباع کم است. برخی ژنوتیپ‌های این گیاه نیز از لحاظ علوفه‌ای اهمیت دارند. پتانسیل درآمد اقتصادی زیاد در چرخه تولید و عرضه شامل تولیدکنندگان (کشاورزان)، صنایع فرآوری و زنجیره فروش و غیره برای این محصول پیش بینی شده است (Jacobsen and Stolen, 1993). از نظر خصوصیات کمی و کیفیت تنوع زیادی در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا وجود دارد که در این خصوص می‌توان به

ژنوتیپ‌های مناسب تولید دانه، ژنوتیپ‌های مناسب تولید علوفه، ژنوتیپ های متنوع از نظر صفاتی چون رنگ و اندازه دانه، میزان ساپونین (میزان تلخی)، تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده، حساسیت به طول روز، زمان رسیدگی و غیره اشاره کرد. هر کدام از این ژنوتیپ‌ها می‌توانند مناسب کشت برای اهداف خاص و در مناطق هدف باشند (Bagheri *et al.*, 2021).

دانه کینوا یک شبه غله با ارزش غذایی بالاست که کم حجم و بسیار خوش‌هضم است و یک منبع غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین های B می‌باشد. به طوری که در کشورهای آمریکای جنوبی به "خاویار سبز" معروف است. اهمیت غذائی کینوا مربوط به ترکیب کامل اسید آمینه، کلسیم ، فسفر و آهن بالا و سدیم پائین است. پروتئین کینوا از نظر کمی و کیفیت بهتر از دانه غلات است و تعادل اسیدآمینه‌ای مطلوب‌تری برای تغذیه انسان و دام نسبت به گندم دارد. میزان لیزین بالا (۱/۴-۵/۶ درصد) از خصوصیات بارز دانه کینواست که دو برابر گندم است (Prager *et al.*, 2018; Bagheri, 2018).

از آنجا که عملکرد دانه، به عنوان یک صفت کمّی پیچیده، توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و محیط (و تنش های گوناگون) نیز بر روی آن تأثیر می‌گذارند، گزینش ژنوتیپ های مطلوب تنها بر اساس میانگین عملکرد و بدون نگرش به پایداری آن چندان سودمند نیست (Sharifi *et al.*, 2017). از این رو استفاده از روش‌هایی برای یافتن ارقام اصلاح شده‌ای با عمکرد بالا و کیفیت مطلوب نیاز است که بتوانند سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ ها را در شرایط گوناگون محیطی ارزیابی کند. روشهای مختلفی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپها و شناسایی ژنوتیپهای سازگار به محیط های مختلف ارائه شده است که روشهای پارامتری و ناپارامتری را در بر می‌گیرند. روشهای پارامتری خود به روشهای تک متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند (Sharifi *et al.*, 2017). در بین روش‌های چندمتغیره می توان روش آثار اصلی جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر (AMMI) و بای پلات را نام برد. دلیل کاربرد گسترده روش AMMI، علاوه بر ارائه ابزارهای گرافیکی مناسب برای تفسیر آسان GEI، برآوردهای دقیق‌تری است که از ارزش‌های ژنوتیپی در مقایسه باتجزیه واریانس (ANOVA) معمولی ارائه می‌دهد (van Eeuwijk *et al.*, 2016).

باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2021) در پژوهشی با استفاده از روش AMMI نشان دادند که ژنوتیپ Q29 پایدارترین ژنوتیپ بود و ژنوتیپ‌های Q12، Carina Red و Q22 درکرج و کاشمر و ژنوتیپ‌های Giza1 و Q18 نیز با منطقه ارومیه سازگاری خصوصی بهتری داشتند. تاری نژاد و همکاران (Tarinejad *et al.*, 2020) در پژوهش دیگری بر روی گندم در بررسی پایداری عملکرد دانه با استفاده از روش MMI، ژنوتیپهای شماره

N-75-6 و در رتبه های بعدی N-75-5، N-75-1 و به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار تعیین شدند. موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2022) نیز بر اساس نتایج بای پلات برای ژنوتیپ های کینوا، ژنوتیپ‌های Titicaca، Giza1 و Red Carina به عنوان ژنوتیپ های مطلوب و ژنوتیپ‌های EQ4، EQ5 و EQ6 به عنوان ژنوتیپ‌های نا مطلوب معرفی کردند. با توجه به ارزش تغذیه‌ای بسیار بالای کینوا و همچنین جایگاه ویژه‌ای که این محصول می‌تواند در تناوب زراعی و به خصوص در شرایط محیطی مستعد تنش داشته باشد، تاثیر توسعه کشت کینوا در افزایش امنیت غذایی کشور غیرقابل انکار است.

بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا در کشت پاییزه در مناطق گرمسیر کشور و انتخاب ژنوتیپ (های) برتر برای هر منطقه بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۰ ژنوتیپ کینوا شامل: Red Carina, Titicaca, Giza1, Q12, Q18, Q21, Q22, Q26, Q29, Q31 در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه اهواز، ایرانشهر، بوشهر و جیرفت به مدت دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

هر کرت آزمایشی دارای سه خط کاشت به طول پنج متر، فاصله خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف حدود شش تا هشت سانتی متر بود. فاصله بین کرت‌های آزمایشی ۱۸۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌های آزمایشی دو متر در نظر گرفته شد. ژنوتیپ‌های با پیشوند Q از کشور شیلی، رقم Titicaca از دانمارک، رقم Giza1 از مصر و رقم Red Carina از هلند دریافت شده‌اند.

آماده سازی زمین همانند سایر محصولات دانه‌ریز شامل شخم، کودپاشی، دیسک و ایجاد جوی و پشته بود. کشت بذور در جیرفت در شهریور و در اهواز در مهر و در ایرانشهر و بوشهر در آبان ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸انجام شد. عمق کاشت حدود ۱-۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود سولفات‌پتاسیم و سوپرفسفات‌تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان آماده‌سازی زمین و کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله آماده‌سازی بستر بذر، مرحله رشد ۲۰-۱۵ سانتی‌متری بوته‌ها و شروع گلدهی داده شد. علف‌های هرز پهن‌برگ بصورت دستی و علف‌های هرز باریک برگ با علف کش سوپرگالانت کنترل و مدیریت شدند. آبیاری در کلیه مناطق و سال ها به صورت آبیاری قطره ای (تیپ) انجام شد. آبیاری اول به صورت متوسط و در حد خیس شدن ده سانتی متری عمق خاک، آبیاری دوم سه روز پس از کشت بسیار سبک و در حد خیس شدن سطح خاک و آبیاری های بعدی با توجه به شرایط هر مزرعه و در صورت نیاز گیاه

با مشاهده آثار کم آبی در گیاهان انجام شد. حدود سه هفته قبل از برداشت آبیاری به طور کامل قطع گردید.

در طول اجرای پروژه صفات روز تا جوانه‌زنی، روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع گیاه، طول گل‌آذین، قطر ساقه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و میزان ساپونین دانه بررسی و ثبت شد. برای اندازه‌گیری میزان ساپونین، نمونه‌های بذر با استفاده از پروتکل تهیه شده توسط کوزیول (Koziol, 1991) انجام شد. بدین صورت که نیم گرم بذر خشک شده به لوله تست به طول ۱۶۰ میلی‌متر و قطر ۱۶ میلی‌متر اندازه‌گیری و ۵ میلی لیترآب اضافه شد. لوله‌ها به مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شدند (چهار ضربه در ثانیه). کف حاصل به مدت ۱۰ ثانیه اجازه یافت تا حل شود، سپس یک لرزش نهایی به آن داده و ارتفاع کف از بالای آب اندازه گیری شد. در نهایت میزان ساپونین، بر حسب میلی گرم به ازای هر گرم وزن دانه تازه، با استفاده روش کوزیول (Koziol, 1991) برآورد شد.

تجزیه واریانس مرکب داده ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای تجزیه مرکب داده‌ها اثر سال و مکان تصادفی و اثر تیمار ثابت در نظر گرفته شد. میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) مقایسه شدند. تجزیه AMMI با استفاده از میانگین های دو ساله انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر سال بر عملکرد دانه، ارتفاع گیاه، طول گل‌آذین، روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی، وزن هزاردانه و قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در مطالعه مشابهی که بر روی همین ژنوتیپ‌ها در کشت بهاره در مناطق سرد و معتدل انجام شد، اثر سال بر کلیه صفات معنی دار شد (Bagheri *et al.*, 2021). عملکرد دانه و وزن هزاردانه به عنوان دو صفت مهم در سال دوم برتر از سال اول بود. این در حالی است که با توجه به تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ژنوتیپ‌های کینوا در سال دوم آزمایش زودرس‌تر بودند. ارتفاع گیاه و طول گل‌آذین نیز در سال اول از سال دوم برتر هستند (جدول ۲). به نظر می‌رسد گرمای هوا در سال دوم آزمایش باعث شد که ژنوتیپ‌های کینوا نیاز به تعداد روز کمتری برای رسیدن به این مراحل فنولوژیکی داشتند و در نتیجه پاکوتاه‌تر و زودرس تر شدند و عملکرد دانه و شاخص برداشت کمتری داشتند. گرمای هوا در سال دوم آزمایش موجب برخورد مرحله گرده‌افشانی با دماهای بالا و درنتیجه کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد (Bagheri *et al.*, 2021).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب برای صفات زراعی و کیفیت دانه ژنوتیپ‌های کینوا در چهار مکان و دو سال زراعی

Table 1. Combined analysis of variance for agronomic and seed quality traits of quinoa genotypes in four locations and two cropping seasons

			Mean squares میانگین مربعات								
S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	روز تا جوانه‌زنی Days to germination	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	ارتفاع گیاه Plant height	طول گل‌آذین Inflorescence length	قطر ساقه Stem diameter	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	میزان ساپونین دانه Seed saponin content
Year (Y)	سال	1	4.00	5703.00**	2196.2**	3628**	1318.0**	26.60**	2.80**	7980001**	0.120
Location (L)	مکان	3	30.00	20962.00**	747.08**	23949**	2722.0**	4218.00**	1.90	72387067**	0.320
Y × L	سال × مکان	3	10.00**	2960.60**	1463.0**	3244**	179.0**	144.00**	1.02**	1447391**	0.036
Error 1	اشتباه ۱	16	2.60	0.56	7.4	273	16.0	2.60	0.03	192352	0.320
Genotype (G)	ژنوتیپ	9	4.10	17.20**	351.0**	466**	24.9**	16.20**	0.40**	1162076**	5.100**
G × L	ژنوتیپ × مکان	27	2.04**	33.40**	309.0**	355**	21.0**	10.60**	0.24**	461228**	2.280**
G × Y	ژنوتیپ × سال	9	5.50	4.60**	16.4**	262*	19.0	2.20	0.14**	223877**	0.024
G × L × Y	ژنوتیپ × مکان × سال	27	7.74	2.90**	7.9**	297**	10.9	2.30	0.10**	264132**	0.028
Error 2	اشتباه ۲	144	0.10	1.20	3.1	107	9.9	1.69	0.05	79599	0.298
C.V. (%)	ضریب‌تغییرات (٪)		0.3	2.47	1.74	11.1	14.8	7.9	7.85	14.5	11.57

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات زراعی و کیفیت دانه ژنوتیپ های کینوا در مکان های مختلف

Table 2. Mean comparison of agronomic and seed quality traits of quinoa genotypes in different locations

Location	مکان	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to maturity	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	طول گل‌آذین (سانتی متر) Inflorescence length (cm)	قطر ساقه (میلی متر) Shoot diameter (mm)	وزن هزاردانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha^{-1})	میزان ساپونین (میلی گرم در گرم) Seed saponin content (mg g^{-1})
Ahvaz	اهواز	32.4	93.2	79.9	15.6	8.4	3.09	1014.3	4.72
Iranshahr	ایرانشهر	71.7	111.9	95.3	22.1	26.8	3.04	2601.8	4.79
Bushehr	بوشهر	42.0	90.1	76.5	16.8	11.2	2.77	1009.1	4.61
Jiroft	جیرفت	32.0	109.7	120.3	30.4	19.9	2.76	3147.5	4.74
LSD (5%)		0.40	0.64	3.72	1.14	0.47	0.08	101.81	0.20

ژنوتیپ های کینوا برای کلیه صفات مورد مطالعه، بجز روز تا جوانه‌زنی، در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار داشتند (جدول ۱). تفاوت های مشاهده شده ممکن است به دلیل منشا متفاوت (دانمارک، هلند، مصر و شیلی) ژنوتیپ های مورد مطالعه بود. این تنوع وسیع برای صفات مختلف در ژنوتیپ های مورد بررسی می‌تواند منبع ژرم پلاسم بسیار مفید برای استفاده در برنامه های به‌نژادی باشد.

برهمکنش ژنوتیپ × مکان برای کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). این این بدین معناست که ژنوتیپ‌های کینوا مورد مطالعه در مکان‌های مختلف واکنش متفاوتی داشتند. این نتایج با نتایج بلمونته و همکاران (Belmonte *et al.*, 2018)، اشرف (Ashraf, 2017) و سانتیس و همکاران (Santis *et al.*, 2016) که گزارش کردند ژنوتیپ های کینوا برای صفات مختلف دارای تفاوت معنی دار داشتند، هم خوانی دارد.

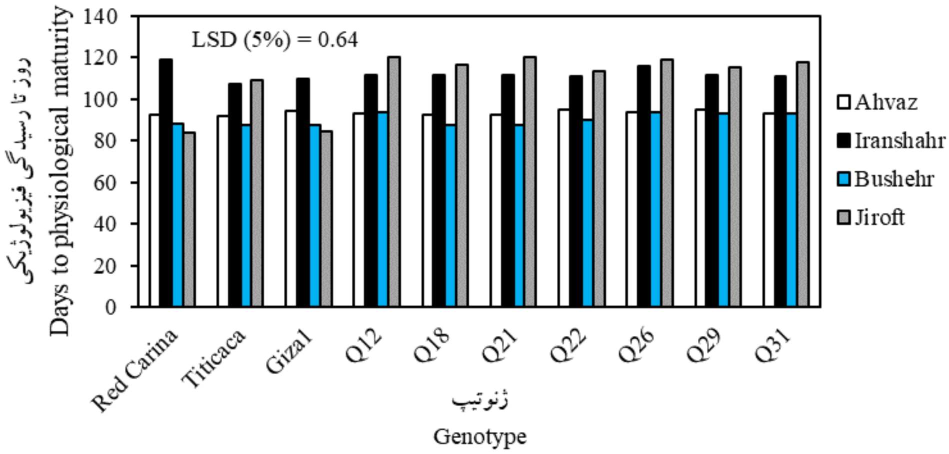
از نظر تعداد روز تا گرده‌افشانی ژنوتیپ‌های Red Carina و Q26 با میانگین ۴۶/۵ و ۴۵ دیر گل‌ده ترین و ژنوتیپ‌های Q21، Titicaca و Q31 به ترتیب با میانگین ۴۳/۶، ۴۳/۷ و ۴۴ روز تا گل‌دهی زودگل‌ده‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). این نتایج با نتایج تحقیقات پیشین باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2021) تطابق داشت. تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی برای ژنوتیپ های کینوا نیز اهمیت بسزایی دارد. زیراکه زودرسی، متوسطرسی و دیررسی ارقام را تعیین می‌کند و ژنوتیپ‌های زودرس در مناطق کم باران باعث صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری می‌شوند. ژنوتیپ Q12 با میانگین ۱۱۷/۸ روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی، دیررس‌ترین رقم بود. ژنوتیپ‌های Giza1، RedCarina و Titicaca به ترتیب با میانگین ۹۳/۸، ۹۵/۸ و ۹۸/۷ روز تا گل‌دهی زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۳). در مجموع ژنوتیپ های Red Carina و Q12 در جیرفت به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی را دارا بودند (شکل ۱). باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2021) و طاووسی و سپهوند (Tavoosi and Sepahvand, 2012) ارقام Titicaca و Giza1 را زودرس‌ترین ارقام گزارش کردند. تعداد روز تا رسیگی فیزیولوژیکی در اهواز ۱۱۲ روز و در جیرفت و ایرانشهر ۱۰۸ روز بود.(شکل ۱).

ژنوتیپ Q29 با میانگین ارتفاع گیاه ۹۹/۷ سانتی‌متر بلندترین ارتفاع گیاه را داشت و ژنوتیپ‌های Giza1 و Q12 نیز به ترتیب با میانگین ارتفاع گیاه ۹۸/۱ و ۹۵/۳ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ Q29 نداشتند (جدول ۳). کمترین ارتفاع گیاه نیز با میانگین ۸۴ سانتی‌متر مربوط به رقم Titicaca بود. در کشت بهاره نیز رقم Titicaca کوتاه ترین ارتفاع گیاه را به خود اختصاص داد

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی و کیفیت دانه ژنوتیپ‌های کینوا

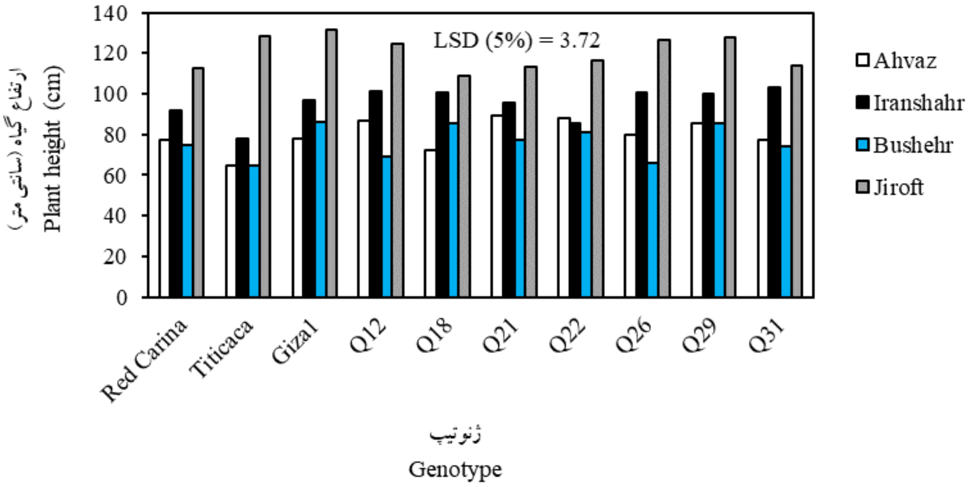
Table 3. Mean comparison of agronomic and seed quality traits of quinoa genotypes

ژنوتیپ Genotype	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول گل‌آذین (سانتی‌متر) Inflorescence length (cm)	قطر ساقه (میلی‌متر) Shoot diameter (mm)	وزن هزاردانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha^{-1})	میزان ساپونین دانه (میلی‌گرم در گرم) Seed saponin content (mg g^{-1})
Red Carina	46.5	95.8	89	20.1	16.0	2.69	1695.0	4.74
Titicaca	43.7	98.7	84	21.5	16.4	2.83	1772.3	4.83
Giza1	44.3	93.8	98.1	21.0	15.4	2.76	1762.8	4.13
Q12	44.7	104.5	95.3	22.7	18.2	3.00	2350.2	4.85
Q18	44.3	102.1	91.8	21.4	16.2	2.93	1936.6	3.93
Q21	43.6	102.8	93.8	19.0	16.0	2.98	1847.1	4.56
Q22	44.3	102.1	92.7	21.4	16.0	2.93	1738.2	4.64
Q26	45.0	105.2	93.2	21.5	17.0	3.03	2156.8	5.34
Q29	44.0	103.4	99.7	21.7	17.3	2.87	2152.5	4.73
Q31	44.0	103.6	92.2	21.8	17.2	3.11	2020.0	5.43
LSD (5%)	0.63	1.01	5.89	1.80	0.74	0.13	160.98	0.31



شکل ۱- مقایسه میانگین بر همکنش ژنوتیپ × مکان بر روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های کینوا
Fig. 1. Mean comparison of genotype × location interaction on days to physiological maturity of quinoa genotypes

(Bagheri *et al.*, 2021). ایـن پژوهشـگران گزارش کردند که در کشت بهاره ژنوتیپ Q12 بلند ترین میانگین ارتفاع گیاه (۱۳۶/۲ سانتی‌متر) را در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگـر داشـت. رقـم Giza1 در جیرفت با ارتفاع گیاه ۱۳۱ سانتی‌متـر بلندترین ارتفـاع گیـاه را داشـت و کوتـاه تـرین ارتفاع گیاه (۶۵ سانتی متر) نیز مربوط به به رقـم Titicaca در بوشهر بود (شکل ۲).



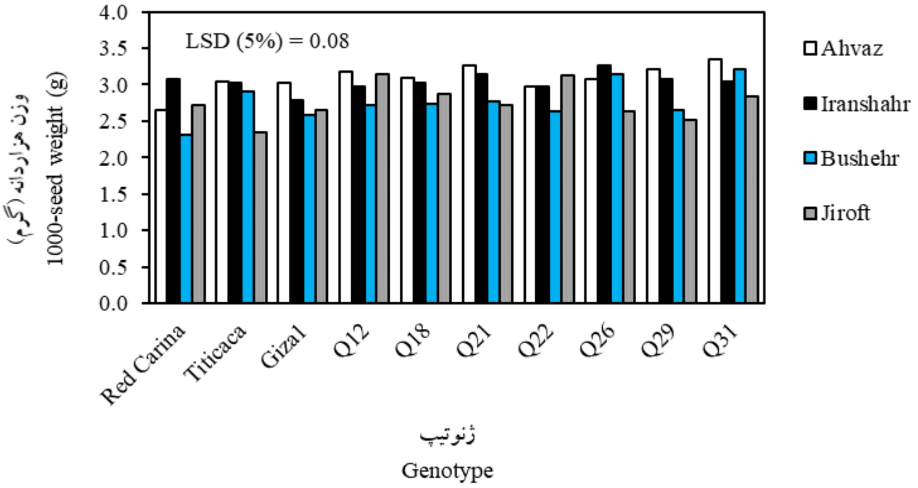
شکل ۲- مقایسه میانگین بر همکنش ژنوتیپ × مکان بر ارتفاع گیاه ژنوتیپ‌های کینوا
Fig. 2. Mean comparison of genotype × location interaction on plant height of quinoa genotypes

ژنوتیپ Q12 با میانگین ۲۲/۷ سانتی متر بیشترین طول گل‌آذین و ژنوتیپ Q21 با میانگین ۱۹ سانتی‌متر کوتاهترین طول گل آذین را نسبت به ژنوتیپ های دیگر داشتند (جدول ۳). این نتایج مشابه یافته های به دست آمده توسط حسین و همکاران (Hossein *et al.*, 2018) بود که در آن اندازه طول گل‌آذین ژنوتیپ Q12 تفاوت معنی‌داری با دیگر ژنوتیپ‌های زودرس مورد مطالعه داشت.

ژنوتیپ‌های کینوا از نظر قطر ساقه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بودند (جدول ۱). ژنوتیپ Q12 با میانگین قطر ساقه ۱۸/۲ میلی‌متر دارای بیشترین قطر ساقه بود (جدول ۳). ضخیم بودن ساقه در این ژنوتیپ باعث شد که علیرغم ارتفاع گیاه بلند آن، ساقه مستحکمی داشته و خوابیدگی در آن مشاهده نشد. ژنوتیپ‌های Q29 و Q31 به ترتیب با میانگین قطر ساقه ۱۷/۳ و ۱۷/۲ میلی‌متر و قرار گرفتن در رتبه های بعدی قرار گرفتند. رقم Giza1 با میانگین قطر ساقه ۱۵/۴ میلی‌متر، کمترین قطر ساقه را دارا بود (جدول ۳). با توجه به حساسیت بوته کینوا به خوابیدگی به خصوص در فصول پرباران و همچنین در شرایط مصرف زیاد کود نیتروژن، ژنوتیپ‌های با قطر ساقه بیشتر می‌توانند خوابیدگی، بویژه در ارقام با ارتفاع گیاه بلند، را کاهش دهند. باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2021) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از نظر قطر ساقه تفاوت معنی‌داری نداشتند.

میانگین وزن هزاردانه در کینوا حدود ۲ تا ۶ گرم و در ژنوتیپ‌های زراعی مورد کشت و کار در ایران بین ۲ تا ۳ گرم است. منطقه اهواز با میانگین وزن هزاردانه ۳/۰۹ گرم با سایر مکان ها تفاوت معنی دار داشت و ایرانشهر، بوشهر و جیرفت در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۲). ژنوتیپ Q31، Q26 و Q12 با میانگین وزن هزاردانه ۳/۱۱، ۳/۰۳ و ۳ گرم بیشترین وزن هزاردانه را داشتند (جدول ۳). این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه نیز وضعت مطلوبی داشتند. رقم Titicaca با میانگین وزن هزاردانه ۲/۸۳ گرم در رتبه‌های پایین قرار گرفت و ریز بودن دانه آن مانع جدی در بحث بازار پسندی آن است. میانگین وژن هزار دانه ژنوتیپ های کینوا مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با آزمایشات بهاره(Bagheri *et al.*, 2021) نشان داد که در کشت‌های پاییزه میانگین وزن هزاردانه بیشتر و اندازه دانه ها بازارپسندتر بود. ژنوتیپ Q31 ۳/۳۵ گرم و ژنوتیپ Red Carina با ۲/۳۲ گرم در اهواز به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین وزن هزار دانه را داشتند (شکل ۳).

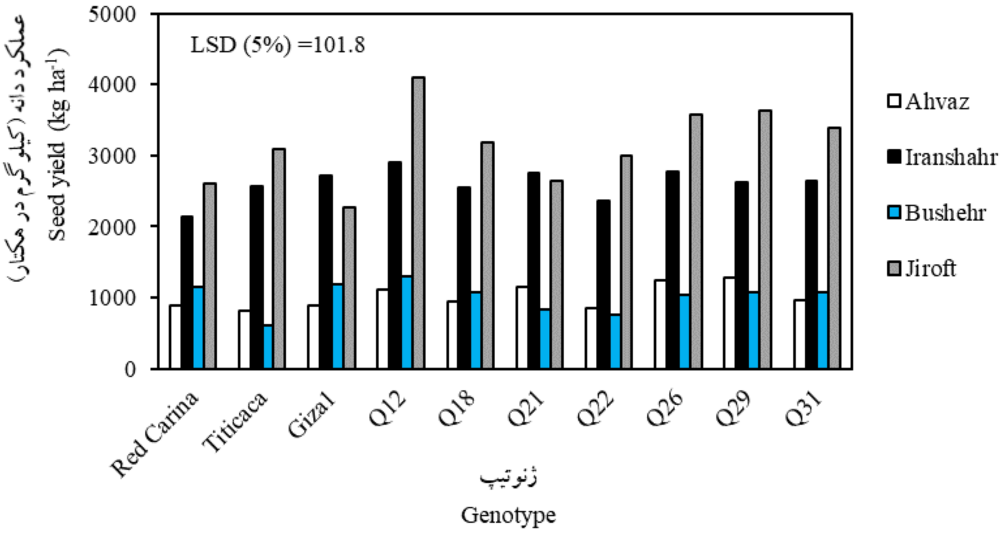
جیرفت با میانگین عملکرد دانه ۳۱۴۷/۵ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را داشت (شکل ۴). ایرانشهر، اهواز و بوشهر به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۲۶۰۱/۸، ۱۰۱۴/۳ و ۱۰۰۹/۱ کیلوگرم در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. ژنوتیپ Q12 با میانگین عملکرد



شکل ۳- مقایسه میانگین بر همکنش ژنوتیپ × مکان بر وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های کینوا
Fig. 3. Mean comparison of genotype × location interaction on 1000-seed weight of quinoa genotypes

دانه ۲۳۵۰/۲ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین عملکرد بود (جدول ۳). ژنوتیپ‌های Q26 و Q29و Q22 نیز به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. رقم Titicaca، که در حال حاضر بالاترین سطح زیر کشت کینوا درکشور را دارد، با میانگین عملکرد ۱۷۷۲/۳ کیلوگرم در هکتار در رتبه هشتم قرار گرفت (جدول ۳). باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2021) نشان دادند که در کشت بهاره ژنوتیپ Q26 در شهرکرد با میانگین عملکرد دانه ۲۰۰۷کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد را داشت، درصورتیکه در کشت‌های بهاره، ژنوتیپ‌های Q26، Q29، Giza1 و Red Carina معمولاً عملکردهای بهتری داشته اند. ژنوتیپ Q12 در جیرفت با میانگین عملکرد دانه ۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد را دارا بود (شکل ۴). پایین‌ترین عملکرد دانه (۶۱۵/۲ کیلو گرم در هکتار) نیز مربوط به ژنوتیپ Titicaca در بوشهر بود (شکل ۴).

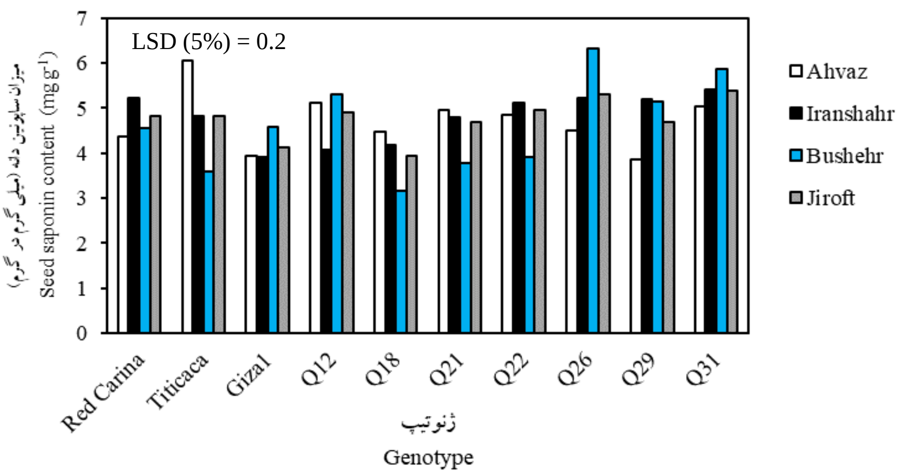
درجه حرارت بالا در مراحل گلدهی و رشد دانه به طور معنی‌داری عملکرد دانه را کاهش می دهد. هینوجوسا و همکاران (Hinojosa *et al.*, 2019) گزارش کردند که دمای بالا (بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد) عملکرد دانه کینوا را کاهش داد. در پژوهش حاضر نیز مواجهه مرحله گلدهی و پر شدن دانه ژنوتیپ های کینوا با دماهای بالاتر از ۴۰ درجه باعث کاهش و عملکرد دانه کینوا شد. حسینی و همکاران (Hosseni *et al.*, 2020) نیز به نتایج مشابهی را گزارش کردند.



شکل ۴- مقایسه میانگین بر همکنش ژنوتیپ × مکان بر میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کینوا

Fig. 4. Mean comparison of genotype × location interaction on mean seed yield of quinoa genotypes

میانگین میزان ساپونین دانه در ژنوتیپ‌های کینوای مورد مطالعه در این پژوهش بین ۳/۹۳ تا ۵/۴۳ میلی‌گرم در گرم بود (جدول ۳). بنابراین کلیه ژنوتیپ ها در گروه نیمه‌شیرین قرار گرفتند و برای مصرف به عنوان دانه خوراکی نیاز به ساپونین‌زدائی خواهند داشت. ژنوتیپ Q18 با میزان ساپونین دانه ۳/۹۳ میلی‌گرم در گرم (۰/۳۹ درصد) حداقل میزان ساپونین دانه را دارا بود. ژنوتیپ‌های Q31 و Q26 نیز به ترتیب با میانگین میزان ساپونین دانه ۵/۴۳ و ۵/۳۴ میلی‌گرم درگرم بالاترین میانگین میزان ساپونین دانه را داشتند (جدول ۳). در مجموع میزان ساپونین دانه در کشت پاییزه این ژنوتیپ‌ها به طور محسوسی کمتر از میانگین کشت بهاره است که احتمالا به دلیل برخورد مرحله پرشدن دانه به تنش گرمایی در کشت بهاره است (Bagheri *et al.*, 2021). هر نوع تنش زیستی و غیرزیستی میزان تولید گلیکوآلکالوئیدها را در گیاهان افزایش می‌دهد. عباسی و همکاران (Abasi *et al.*, 2018)، سیزده ژنوتیپ مختلف کینوا را در کشت بهاره در کرج بررسی کردند و نشان دادند که میزان ساپونین در این ژنوتیپ‌ها بین ۱/۶۲ تا ۵/۲۱ میلی‌گرم در گرم متغیر بود. ژنوتیپ Q18 در بوشهر با میانگین میزان ساپونین دانه ۳/۱۵ میلی‌گرم درگرم شیرین‌ترین و ژنوتیپ Titicaca در اهواز با میانگین میزان ساپونین دانه ۶/۰۵ میلی‌گرم در گرم تلخ‌ترین دانه بها را تولید کردند (شکل ۵).

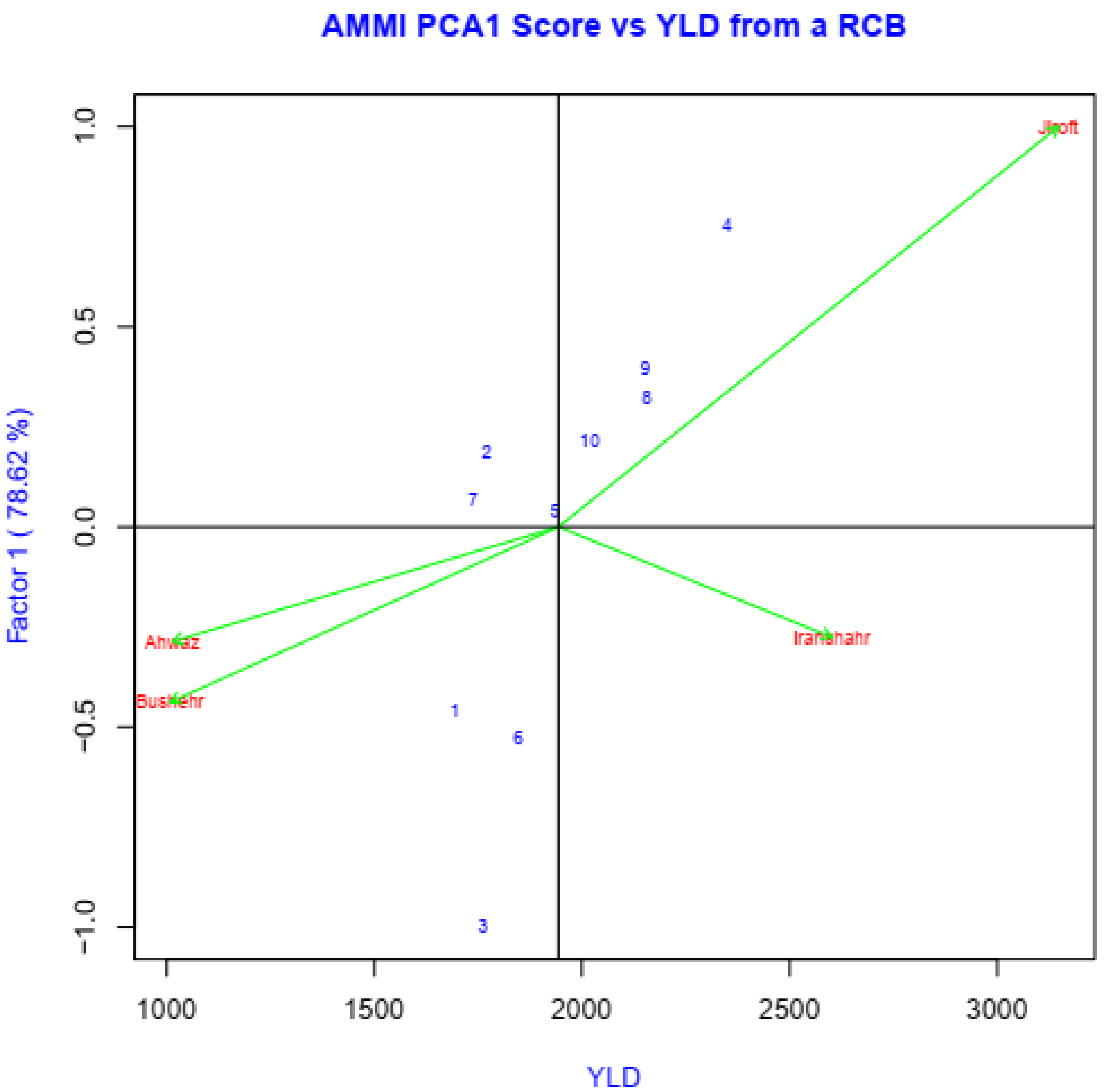


شکل ۵- مقایسه میانگین بر همکنش ژنوتیپ × مکان بر میزان ساپونین دانه ژنوتیپ‌های کینوا

Fig. 5. Mean comparison of genotype × location interaction on seed saponin content of quinoa genotypes

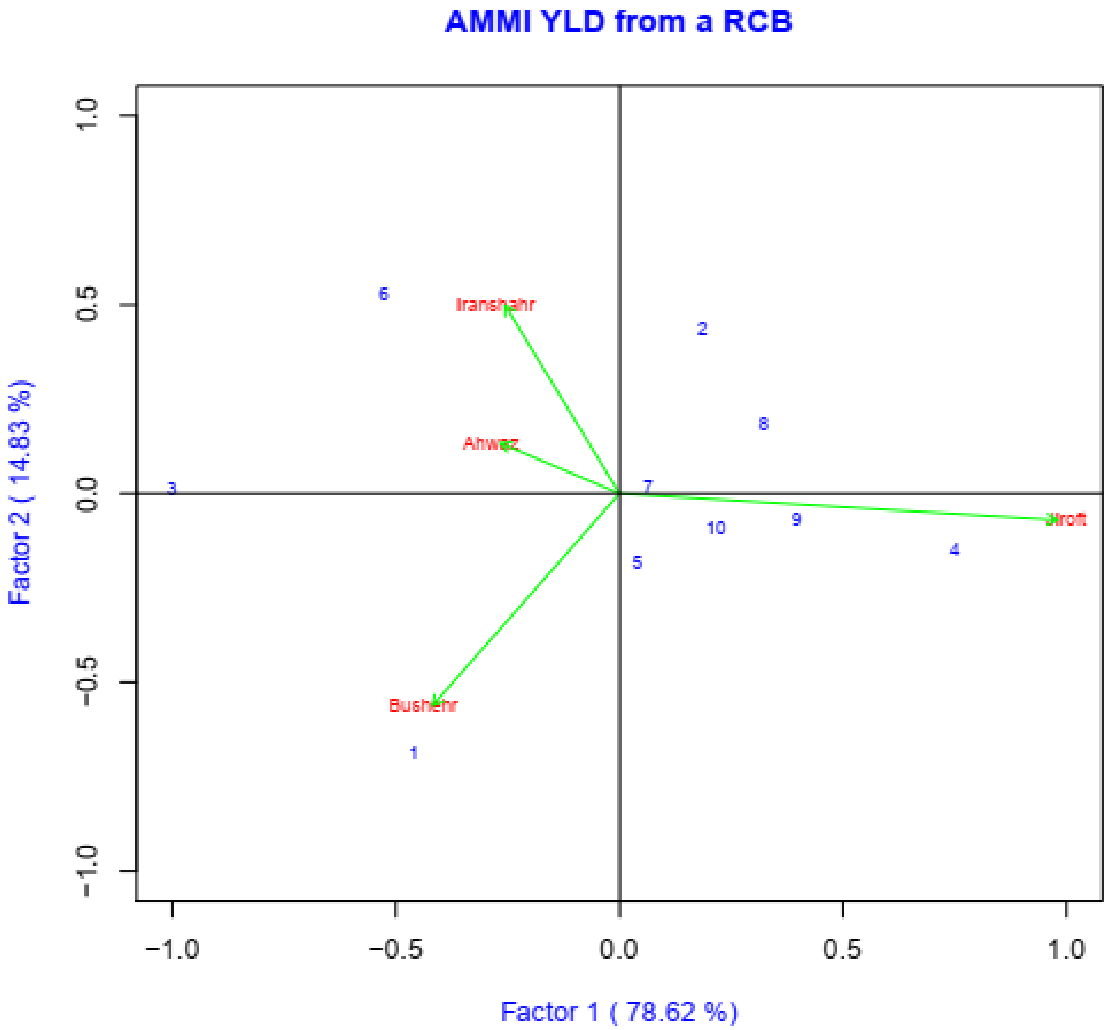
تجزیه پایداری با استفاده از روش AMMI انجام شد. شکل ۶ نمودار بای پلات عملکرد در مقابل مولفه اول (مدل AMMI1) برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و شکل ۷ نمودار بای پلات دو مولفه اول (مدل AMMI2) برای برهمکنش ژنوتیپ × محیط های مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار بای پلات (شکل ۶) میانگین عملکرد دانه در مقابل مولفه اول (مدل AMMI1)، ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۷، ۲، ۶ و ۱۰ به ترتیب با داشتن کمترین فاصله از مرکز نمودار که نشانگر کمترین برهمکنش است، به ترتیب از پایداری عملکرد دانه بالایی برخوردار بودند (شکل ۶). پایداری عملکرد دانه بالا الزاما به معنای عملکرد بالا نیست، بلکه نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ با عملکرد پایدار در محیط‌های مختلف (سال‌ها و مناطق) تغییرات عملکرد کمتری دارد و برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه آن ژنوتیپ پایین بود. البته شکی نیست که پایداری عملکرد دانه اگر همراه با عملکرد دانه بالا باشد برای به‌نژادگر بسیار مطلوب است و به راحتی می‌تواند آن ژنوتیپ را انتخاب کند.

به منظور بررسی سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌ها با مکان‌های از مدل AMMI2 که از بای پلات دو مولفه اصلی اول ایجاد می‌شود، استفاده شد. در این بای پلات اهواز، ایرانشهر و بوشهر به عنوان کلان محیط اول بودند و ژنوتیپ‌های ۵ و۷ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر برای این کلان محیط شناسایی شدند (شکل ۷). به عبارت دیگر این ژنوتیپ‌ها بهترین عملکرد دانه را در مکان‌های فوق داشتند و با این مکان‌ها سازگاری خصوصی داشتند. از سوئی دیگر



شکل ۶- نمودار بای‌پلات عملکرد دانـه در مقابـل مولفـه اول مـدل AMMI1 بـرای ژنوتیـپ‌هـای کینـوا (1:Red Carina, 2: Titicaca, 3: Giza1, 4: Q12, 5: Q18, 6: Q21, 7: Q22, 8: Q26, 9: Q29, 10: Q3)

Fig. 6. Biplot of seed yield against the first component of AMMI1 model for quinoa genotypes (1: Red Carina, 2: Titicaca, 3: Giza1, 4: Q12, 5: Q18, 6: Q21, 7: Q22, 8: Q26, 9: Q29, 10: Q3)



شکل ۷- نمودار بای‌پلات مدل AMMI2 دو مولفه اول برای برهمکنش ژنوتیپ × مکان

(1:Red Carina, 2: Titicaca, 3: Giza1, 4: Q12, 5: Q18, 6: Q21, 7: Q22, 8: Q26, 9: Q29, 10: Q3)

Fig. 7. Biplot of AMMI2 for the interaction of genotypes and location

(1: Red Carina, 2: Titicaca, 3: Giza1, 4: Q12, 5: Q18, 6: Q21, 7: Q22, 8: Q26, 9: Q29, 10: Q3)

ژنوتیپ‌های ۴، ۹ و ۸ با جیرفت سازگاری خصوصی نشان دادند و ژنوتیپ‌های برتر برای این مکان بودند (شکل ۷). همانگونه که ملاحظه می‌شود نتایج حاصل از شکل ۶ و شکل ۷ تا حد بسیار زیادی با یکدیگر تطابق دارند. در این مدل هر چه ژنوتیپ‌ها به مرکز بای پلات نزدیک‌تر باشند، دارای برهمکنش ژنوتیپ × محیط کمتر و از پایداری عملکرد بالاتری برخوردارند. بنابراین برای مکان‌های بیشتری قابل توصیه خواهند بود. در مقابل، ژنوتیپ‌هائی که به یک مکان (های) خاص نزدیک‌ترند، دارای سازگاری خصوصی با آن منطقه یا مناطق هستند

(Gauch and Zobel, 1997).

همبستگی بین قطر ساقه و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی با عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین همبستگی بین طول گل‌آذین و روز تا رسیدگی با قطر ساقه و معنی دار بود. وزن هزاردانه و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی نیز دارای همبستگی معنی دار بود. بیشترین همبستگی عملکرد دانه با قطر ساقه بود (جدول ۴). بنابراین، به نظر می‌رسد در ژنوتیپ های کینوا مورد مطالعه افزایش قطر ساقه و به تبع آن افزایش زیست توده و عدم خوابیدگی نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه داشت.

جدول۴- ضرایب همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه کینوا (df = 8)

Table 4. Correlation coefficients of the studied traits of quinoa (df = 8)

صفت Trait	عملکرد دانه Seed yield (1)	ارتفاع گیاه Plant height (2)	طول گل‌آذین Inflorescence length (3)	قطر ساقه Stem diameter (4)	روز تا گلدهی Days to flowering (5)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to Physiological maturity (6)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (7)	میزان ساپونین دانه Seed saponin content (8)
1								
2	0.448							
3	0.625	0.124						
4	0.914**	0.187	0.683*					
5	-0.090	-0.139	-0.078	-0.033				
6	0.741*	0.182	0.355	0.723*	-0.303			
7	0.612	0.129	0.320	0.579	-0.424	0.867**		
8	0.378	-0.181	0.268	0.569	0.105	0.495	0.523	

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌های کینوای مورد مطالعه برای کشت پاییزه در مناطق هدف و مناطق با اقلیم مشابه مناسب می باشند. همچنین ژنوتیپ‌های کینوای مورد مطالعه از نظر کلیه صفات تنوع و تفاوت معنی‌دار داشتند. ژنوتیپ Q12 بالاترین میانگین عملکرد دانه را در سال‌ها و مکان‌های آزمایشی داشت. همچنین جیرفت و بوشهر به ترتیب بالاترین و پایین ترین رتبه را از نظر میانگین عملکرد دانه در کشت پاییزه کینوا داشتند. ژنوتیپ‌های Q18، Q22، TTKK و Q21 به ترتیب دارای پایدارترین عملکرد دانه بودند. در مجموع کلیه ژنوتیپ¬های کینوا مورد مطالعه در این پژوهش برای کشت پاییزه در مناطق هدف سازگار بودند و می توانند برای کشت و تولید به کشاورزان علاقمند توصیه شوند.

سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از مدیریت محترم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و همچنین مدیریت محترم بخش تحقیقات سبزی¬های زراعی و حبوبات آبی آن موسسه

برای پشتیبانی و تامین منابع مالی برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می کنند. همچنین از بانک ژن IPK آلمان برای در اختیار قرار دادن ژرم¬پلاسم کینوا قدردانی می¬شود. از همکارانی که در مراحل مختلف اجرای این پژوهش ما را یاری کردند نیز تشکر می کنیم.

References

Abasi, S., Cordnaeich, A., and Bagheri, M. 2018. Evaluation of genetic diversity of new quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars based on agro-morphological traits. In: Proceedings of the 15th Iranian Crop Science Congress. 2-5 September 2019. Karaj, Iran.

Ashraf, E. 2017. Multi-environmental evaluation for grain yield and its components of quinoa genotypes across the northwestern coast of Egypt. Egyptian Journal of Desert Research 67: 65-82. DOI:10.21608/ejdr.2017.5845.

Bagheri, M. **2018.** Handbook of quinoa cultivation. Seed and Plant Improvement Institute. 56 pp.

Bagheri, M., Anafjeh, Z., Taherian, M., Emami, A., Molaie, A. R., and Keshavarz, S. 2021. Assessment of adaptability and seed yield stability of selected quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in spring cropping systems in cold and temperate regions of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 22 (4): 376-387 (in Persian).

Belmonte, C., Soaresde Vasconcelos, E., Tsutsumi, C., Lorenzetti, E., Hendges, C., Coppo, J., da Silva Martinez, A., Pan, R., Santos Brito, T., and Inagaki, A. 2018. Agronomic and productivity performance for quinoa genotypes in an agroecological and conventional production system. American Journal of Plant Sciences 9: 880-891. DOI: 10.4236/ajps.2018.94067.

FAO. 2017. FAOSTAT. Available at: http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E.

Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science 31: 311-326. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020002x.

Hinojosa, L., Matanguihan, J. B., and Murphy, K. M. 2019. Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science 205: 33-45. https://doi.org/10.1111/jac.12302.

Hossini, Y., Ramezani Moghaddam, J., Nikpour, M. R., and Abdoli, A. 2018. Evaluating water uptake functions under simultaneous salinity and water stress conditions in *Solanum lycopersicum*. Journal of Water Research in Agriculture 32 (2)

247-265 (in Persian). https://doi.org/10.22092/jwra.2018.116969

Hosseni, H., Rahemi Karizaki, A., Biabani, A., Nakhzari Moghadam, A., and Taleii, F. 2020. Investigating changes in the physiological indicators of the growth and yield of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under the influence of different cultivation dates. Crop Production 13 (2): 99-116. DOI: 10.22069/EJCP.2020.17953.2325

Hussain, M. I., Al-Dakheel, A. J., and Reigosa, M. J. 2018. Genotypic differences in agro-physiological, biochemical and isotopic responses to salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants: Prospects for salinity tolerance and yield stability. Plant Physiology and Biochemistry 129: 411-420. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.06.023.

Jacobsen, S., and Stolen, O. 1993. Quinoa - Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. European Journal of Agronomy 2 (1): 19-29. https://doi.org/10.1016/S1161-0301 (14)80148-2.

Kaoutar, F., Abdelaziz, H., Ouafae, B., Redouane, C. A., and Ragab, R. 2017. Yield and dry matter simulation using the saltmed model for five quinoa (*Chenopodium quinoa*) accessions under deficit irrigation in South Morocco. Irrigation and Drainage 66 (3): 340-350. DOI: 10.1002/ird.2116.

Koziol, M. J. 1991. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Science of Food Agriculture 54: 211–219 https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540206.

Moosavi, S. S., Moradi Rizvandi, R. M., Abdollahi, R., and Bagheri, M. 2022. Evaluation of diversity and application of agronomic, morphological، and physiological traits to improve quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grain yield. Journal of Crop Production and Processing 11 (4): 53-68. DOI: 10.47176/jcpp.11.4.26417.

Prager, A., Munz, S., Mehdi Nkebiwe, P., Mast, B., and Graeff-Hönninger, S. 2018. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. Agronomy 8 (10): 197. https://doi.org/10.3390/agronomy8100197

Santis, G., Maddaluno, C., Ambrosio, T., Rascio, A., Rinaldi, M., and Troisi, J. 2016. Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) accessions for the saponin content in Mediterranean environment. Italian Journal of Agronomy 11

(774): 277-281 https://doi.org/10.4081/ija.2016.774.

Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice Science 24 (3): 173−180. DOI:10.1016/j.rsci.2017.02.001.

Tarinejad, A. R., Rashidi, V., and Aglmand, N. 2020. Stability of yield and yield components in bread wheat cultivars by using AMMI method. Agricultural Science and Sustainable Production 30 (2): 319-331 (in Perisan)

Tavoosi, M., and Sepahvand, N. A. 2012. Evaluation of different genotypes of quinoa for yield and other phonological characteristics in Khuzestan. pp. 1-6. In: Proceeding of the 12th Iranian Genetic Congress. 21-23 May, 2012. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (in Persian).

van Eeuwijk, F. A., Bustos-Korts, D. V., and Malosetti, M. 2016. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype × environment interactions? Crop Science 56 (5): 2119 -2140. DOI:10.2135/cropsci2015.06.0375.

Assessment of Adaptability and Seed Yield Stability of Autumn Sown Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes Using AMMI Analysis

M. Bagheri[1*], Kh. Miri[2], S. G. Khoshkam[3], Z. Anafjeh[4] and S. Keshavarz[5]

1. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2. Assistant Professor, Baluchistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iranshahr, Iran.
3. Researcher, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Jiroft, Iran.
4. Researcher, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran.
5. Researcher, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

ABSTRACT

Bagheri, M., Miri, Kh., Kloshkam, S. G., Anafjeh, Z., and Keshavarz, S. 2022. Assessment of adaptability and seed yield stability of autumn sown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes using AMMI analysis. **Seed and Plant 38:** 453-472 (in Persian).

This research was carried out to meet the need for development and introduction of new crops that can adapt to long periods of drought stress under changing climate. For this purpose the adaptability and seed yield stability of 10 autumn sown quinoa genotypes including; Red Carina, Titicaca, Giza1, Q12, Q18, Q21, Q22, Q26, Q29 and Q31 were studied using randomized complete block design with three replications in four location (Ahvaz, Iranshahr, Bushehr and Jiroft) in Iran in 2018-2019 and 2019-2020 cropping seasons. Seed of quinoa genotypes were sown in October 2017 and 2018 in Ahvaz and Jiroft, and in November 2017 and 2018 in Iranshahr and Bushehr. Genotypes with Q prefix have been received from Chile, cv. Titicaca from Denmark, cv. Giza1 from Egypt and cv. Red Carina from the Netherlands. Days to germination, days to flowering, days to physiological maturity, plant height, inflorescence length, stem diameter, seed yield, 1000-seed weight and seed saponin content were measured and recorded. Combined analysis of variance showed that effects of year, location and genotypes were significant ($P \leq 0.01$) on all studied traits, except days to germination. Also, genotype × location interaction was significant ($P \leq 0.01$) on all studied traits. Genotype Q12 (2350.2 kg ha^{-1}) and Red Carina (1695 kg ha^{-1}) had the highest and lowest mean seed yield, respectively. Jiroft (3147.5 kg ha^{-1}) and Bushehr (1009 kg ha^{-1}) had the highest and lowest mean seed yield, respectively. The results of AMMI analysis showed that Q18, Q22, TTKK and Q21 genotypes had the highest seed yield stability, respectively. Genotypes Q18 and Q22 had specific adaptation to Ahvaz, Iranshahr and Bushehr, and genotypes Q12, Q29 and Q26 showed specific adaptation to Jiroft. In conclusion, the results of this research showed that all studied quinoa genotypes were suitable for autumn sowing in target areas.

Keywords: Quinoa, plant height, days to flowering, days to physiological maturity, 1000-seed weight, seed saponin content.

[*]**Corresponding author:** m-bagheri@areeo.ac.ir **Tel.:** +982636703785

Received: 28 October 2022
Accepted: 30 December 2022